

M. Barbolini - La dinamica delle valanghe di neve densa: simulazione matematica mediante modelli di tipo "integrale" - Pavia 1996

La dinamica delle valanghe di neve densa: simulazione matematica mediante modelli di tipo "integrale"

In questi ultimi decenni a seguito di una progressiva antropizzazione dell'ambiente montano il problema delle valanghe di neve ha acquistato una rilevanza sociale sempre crescente; si è così cominciato a trattare il pericolo di valanghe alla medesima stregua di altri tipi di rischi idrogeologici (frane, inondazioni, flussi detritici), e conseguentemente è sorta l'esigenza di affrontare in modo più scientifico tutte le problematiche connesse con questo fenomeno.

Due sono i campi di ricerca attualmente oggetto di maggiori sforzi investigativi; essi si pongono nell'ambito dello stesso problema differenti obiettivi:

- individuare potenziali siti valanghivi e valutare la predisposizione del manto nevoso a generare valanghe;
- valutare gli effetti delle valanghe sul territorio.

Il primo punto coinvolge essenzialmente lo studio dei processi di formazione ed evoluzione del manto nevoso, al fine di valutarne la stabilità in funzione delle caratteristiche climatiche e orografiche locali.

Il secondo affronta invece lo studio dei processi successivi al distacco; in particolare vengono analizzati i meccanismi di propagazione della valanga in dipendenza delle caratteristiche fisiche del manto nevoso e della topografia del sito, al fine di valutarne il raggio di azione e il potere distruttivo. Quando si parla di *dinamica delle valanghe* ci si riferisce proprio a quest'ultimo tipo di problematiche.

A questo proposito a partire dagli anni cinquanta si è iniziato a focalizzare l'attenzione sulla possibilità di modellare il movimento di una valanga; in effetti l'identificazione di modelli fisico-matematici, permettendo una descrizione della dinamica di una valanga tramite equazioni, risulta di particolare interesse e utilità pratica, in quanto consente di effettuare in modo più accurato ed oggettivo sia le operazioni di *mappatura del rischio* che la *progettazione degli interventi difensivi*.

Limitando l'analisi agli scorrimenti nevosi di tipo *denso* che, almeno sull'arco Alpino, risultano sensibilmente più frequenti e comunque generalmente causa di maggiori danni rispetto agli scorrimenti di tipo *polveroso*, è possibile individuare in letteratura tre differenti livelli negli approcci modellistici attualmente adottati per descrivere il fenomeno ed affrontare i problemi pratici ad esso connessi.

Da un lato si hanno le modellazioni di tipo "*puntuale*" o a "*centro di massa*", da ricondurre essenzialmente ai modelli applicativi di Voellmy (1955) e Perla (1980). Esse costituiscono il primo approccio storicamente adottato per la descrizione della dinamica delle valanghe di neve; effettuano una rappresentazione estremamente semplificata del fenomeno (la valanga è assimilata ad un corpo rigido, del quale viene descritto il moto del baricentro lungo il pendio tramite l'equazione fondamentale della dinamica $F=ma$), che risulta pertanto approssimativa e permette di caratterizzare solo parzialmente la reale natura dei processi fisici in gioco. D'altro canto tali modelli sono di pratico utilizzo e relativamente affidabili per applicazioni ingegneristiche, soprattutto in virtù di una taratura condotta in un ampio arco di tempo e su un vasto campione di casi. Attualmente rappresentano gli strumenti utilizzati in modo più diffuso come supporto tecnico nelle operazioni di mappatura delle aree a rischio e dimensionamento delle opere di difesa (Salm, 1994; Martinelli, 1989).

All'altro estremo si collocano gli approcci modellistici concettualmente più approfonditi, introdotti in tempi recenti (Dent, 1983; Norem, 1989) e basati su una modellazione di tipo "*continuo*"; l'ammasso nevoso è trattato come un continuo deformabile, di cui viene descritta la dinamica utilizzando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto. Vengono inoltre analizzati in dettaglio il comportamento meccanico della neve e la natura dei processi dissipativi messi in gioco durante il movimento. Peraltro questa classe di modelli attualmente non sembra garantire sufficiente affidabilità per un utilizzo di tipo ingegneristico. In effetti pur permettendo potenzialmente una descrizione estremamente dettagliata del fenomeno, con rilevanti vantaggi anche da un punto di vista applicativo, le relazioni costitutive in essi

adottate per descrivere il comportamento meccanico della neve sono allo stato attuale caratterizzate da un elevato grado di incertezza, e prive di una rigorosa validazione sperimentale.

Un terzo approccio modellistico si colloca tra i primi due citati. Si tratta della classe di modelli che possono essere definiti di tipo "*integrale*" (Martinet, 1992; Nettuno, 1996). La descrizione del fenomeno è ancora di natura continua e utilizza pertanto le medesime equazioni dei modelli precedenti (bilanci di massa e quantità di moto). Esse vengono però mediate sulla verticale; questo consente di prescindere dalla conoscenza delle leggi reologiche caratteristiche della neve in movimento, sintetizzando l'insieme dei processi dissipativi in relazioni, generalmente empiriche, con cui si descrivono le resistenze in corrispondenza della superficie di scorrimento.

Quest'ultimo approccio sembra essere, allo stato attuale, quello che consente il miglior compromesso tra grado di rappresentatività del fenomeno e applicabilità pratica.

La natura continua della modellazione integrale garantisce infatti una descrizione più realistica del fenomeno rispetto a quella consentita dai modelli puntuali. Possono ad esempio essere descritti in modo naturale gli effetti di spinta tra le differenti parti del corpo valanghivo che si manifestano in corrispondenza di cambi di pendenza (Figura 1), tipicamente alla transizione scorrimento-arresto.

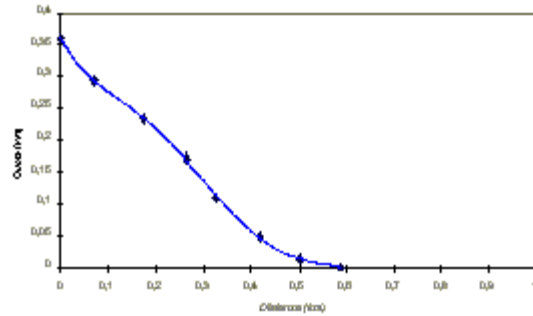
Figura 1: Spinte tra le differenti parti del corpo valanghivo in corrispondenza di cambi dipendenza

E' possibile inoltre valutare l'evoluzione delle caratteristiche geometriche e cinematiche dell'ammasso nevoso durante l'intero svolgimento di un evento e stimare la distribuzione finale del deposito, come evidenziato nell'esempio di Figura 2 relativo ad un caso di studio dove è stato applicato un modello di tipo integrale in forma monodimensionale (Barbolini, 1996).

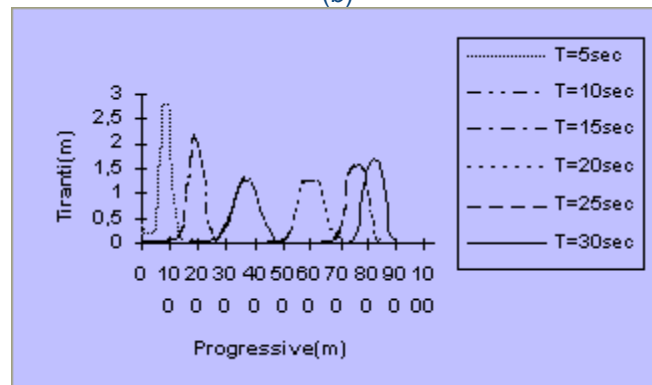
Le caratteristiche dei modelli integrali menzionate rivestono una grande rilevanza pratica, in quanto consentono un incremento nel livello di dettaglio con cui si possono affrontare le operazioni di *mappatura del rischio* e di dimensionamento delle *opere di difesa passiva* nella zona di arresto rispetto a quanto consentito dai modelli puntuali. L'utilizzo di questo tipo di modelli permette inoltre di tenere conto in modo più completo delle condizioni al distacco, includendo, accanto all'altezza, anche la distribuzione areale della zona di distacco; questo aspetto comporta maggiori potenzialità applicative nella identificazione di *interventi strutturali di difesa attiva* nella zona di distacco.

Un'ulteriore pregio significativo delle formulazioni integrali è legato al fatto che esse permettono, senza un eccessivo appesantimento computazionale, una descrizione bidimensionale del moto della valanga sulla sua superficie di scorrimento. Questo aspetto risulta estremamente significativo quando si considerino percorsi valanghivi complessi, con caratteristiche topografiche tali da indurre effetti bidimensionali sul flusso (curve nel letto di scorrimento, incanalamenti, uscite su conoidi), o quando si vogliano valutare gli effetti di opere di difesa passiva quali barriere deflettrici, che impongono una deviazione laterale del flusso, o dighe frenanti, all'azione delle quali è generalmente accompagnato uno spargimento laterale della massa nevosa. Questi effetti non possono essere descritti con modelli di tipo puntuale, data la natura essenzialmente monodimensionale della loro formulazione

La natura integrale dell'approccio modellistico non permette d'altro canto di valutare il comportamento dinamico all'interno del mezzo in movimento (distribuzione dello stato di sforzo, profili di velocità), né di analizzare in maniera dettagliata i processi dissipativi che il fenomeno mette in gioco; d'altronde il ridotto livello di conoscenze teoriche e sperimentali relative a questi aspetti del fenomeno rende sensato al momento, almeno nell'ottica di un'applicazione ingegneristica, utilizzare modellazioni che non necessitino questo tipo di analisi. In effetti l'ampia tipologia di modelli costitutivi esistenti in letteratura per la descrizione del comportamento meccanico della neve in movimento (modelli newtoniani, non-newtoniani, viscoplastici, granulari), è indicativa del livello di incertezza che accompagna questi aspetti del fenomeno e conseguenza, da un lato della varietà delle proprietà fisiche che questo materiale può presentare, e della possibilità che le stesse cambino durante il movimento, e dall'altro dei differenti regimi di moto possibili per materiali di questo tipo.



(b)



(c)

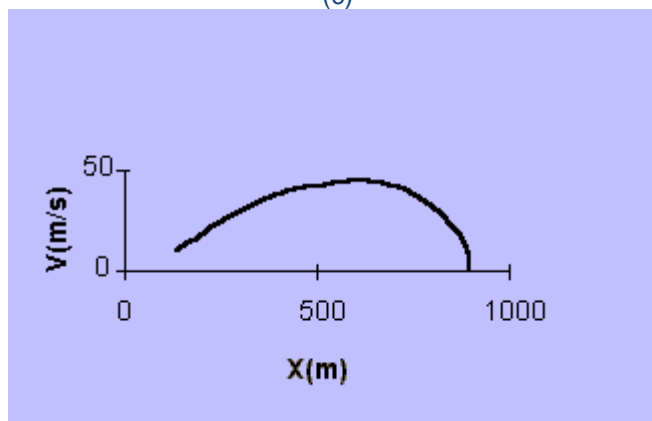


Figura 2: (a) Sito valanghivo Ironton Park (Colorado): profilo longitudinale del pendio (b) Geometria dell'ammasso nevoso in movimento a differenti istanti e distribuzione finale del deposito (T 30s) (Si noti che in questo grafico le scale sono fortemente deformate) (c) Andamento della velocità del fronte lungo il pendio.

Si deve inoltre considerare che la validazione di modelli complessi, che fanno uso di leggi costitutive per la neve in movimento, è resa estremamente difficoltosa dalla ridotta quantità di dati sperimentali di tipo locale (caratteristiche densimetriche, profili di velocità, distribuzione degli sforzi) disponibili alla scala di prototipo, e dalla scarsa rappresentatività di quelli ottenuti alla scala di laboratorio. Nel caso dei modelli integrali la taratura dei parametri caratteristici può essere invece effettuata sulla sola base di dati sperimentali di natura globale (caratteristiche geometriche dell'ammasso nevoso durante il moto e all'arresto, andamento della celerità del fronte lungo il pendio), che risultano in linea di principio di più facile acquisizione; anche questo aspetto permette di ritenere più facile pervenire in futuro alla "taratura" accurata di questo ultimo tipo di modelli, e raggiungere per essi un grado di affidabilità che ne renda possibile un utilizzo in applicazioni pratiche.

Si deve osservare a questo proposito che un punto cruciale risulta l'assoluta necessità di misure sperimentali finalizzate alla validazione dei modelli interpretativi. Allo stato attuale non appare infatti possibile una validazione rigorosa di nessuno tra i modelli fisico-matematici presenti in letteratura. Ciò è legato alla

generale aspecificità delle osservazioni sperimentali che, almeno in passato, venivano effettuate con obiettivi parziali, risultando così prive del dettaglio e dell'accuratezza adeguati per gli scopi menzionati. La recente introduzione di modelli di tipo continuo ha poi portato all'esigenza di acquisire dati sperimentali che non sono stati fino ad ora oggetto di misure sistematiche e accurate; si pensi ad esempio alle misure relative ai parametri geometrico-morfologici di tipo statico (altezza e superficie di distacco, distribuzione del deposito), che risultano almeno in linea di principio di semplice acquisizione e che già consentirebbero la verifica operativa di molte ipotesi modellistiche, oltre che la taratura più accurata di alcuni parametri. I diversi istituti di ricerca operanti nel settore hanno inoltre messo a punto di recente tecniche strumentali che consentono il rilievo di parametri dinamici di vario tipo, con discreto grado di dettaglio spazio-temporale. Questo senza peraltro pervenire fino ad ora ad una raccolta completa di dati relativi a tutti i parametri di interesse per la validazione dei modelli. Gli sforzi futuri sono quindi diretti a colmare questa rilevante lacuna mediante la predisposizione di siti valanghivi sperimentali ove convergano le esperienze dei singoli centri di ricerca.

Con tali obiettivi è recentemente stato avviato il progetto europeo di ricerca SAME, ("Snow Avalanches Modelling, and Warning in Europe") che per la prima volta vede la stretta collaborazione dei più importanti istituti e centri sperimentali europei operanti nel settore, e a cui partecipano per la nostra nazione il CSVDI di Arabba e il Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale dell'Università di Pavia. Una delle principali attività di questo progetto è proprio l'avviamento di campagne sperimentali su di un sito comune con l'obiettivo specifico della validazione dei modelli esistenti, oltre che con lo scopo di pervenire ad un incremento nel livello di conoscenze relative ad un fenomeno che allo stato attuale presenta ancora molti aspetti oscuri.

Barbolini Massimiliano - Lorenzo Nettuno

(Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale dell'Università di Pavia)

[Email: nettuno@ipv36.unipv.it]

Per approfondimenti sull'argomento ed ulteriori informazioni bibliografiche si può consultare la tesi di Laurea di Barbolini Massimiliano dal titolo "Sulla modellazione delle valanghe di neve densa", disponibile presso la sede dello SVI.

Bibliografia

1. *Barbolini, (1996): "Sulla modellazione delle valanghe di neve densa". Tesi di Laurea, Politecnico di Milano*
2. *Dent-Lang, (1983): "A biviscous modified Bingham model of snow avalanche motion". Annals of Glaciology No. 4, pag. 42-46.*
3. *Martinelli, (1989): "Applicazione della modellistica Salm alla determinazione delle aree esposte al rischio di valanghe" Neve e Valanghe, Pag. 24-29 (AINEVA Ed.)*
4. *Martinet, (1992): "Contribution a la modelisation numerique des avalanches de neige dense et des laves torrentielles" Doctorat en Mecanique, Université Joseph Fourier.*
5. *Nettuno, (1996): "La modellazione delle valanghe di neve densa: aspetti modellistici e sperimentali". Tesi di Dottorato di Ricerca, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Università di Pavia.*
6. *Norem-Irgens-Schioldrop, (1989): "Simulation of snow avalanche flow in the runout zones". Annals of Glaciology No. 13, pag. 218-225*
7. *Perla-Cheng-McClung, (1980): "A two parameter model of snow avalanche motion". Journal of Glaciology, Vol. 26, No. 94, pag. 197-207.*
8. *Salm-Burkard-Gubler, (1994): "Calcul des avalanches: une methode pratique pour le praticien avec des exemples". (Communication No. 47). Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches - CH.*
9. *Voellmy, (1955): "Über die Zerstörungskraft von lawinen" Schweizerische Bauzeitung, Jahrgang.73, pag. 159-165. 212-217- 246-249, 280-285.*